

University of Groningen

Production and trapping of Na isotopes for beta-decay studies

Rogachevskiy, Andrey Valerievich

IMPORTANT NOTE: You are advised to consult the publisher's version (publisher's PDF) if you wish to cite from it. Please check the document version below.

Document Version

Publisher's PDF, also known as Version of record

Publication date:

2007

[Link to publication in University of Groningen/UMCG research database](#)

Citation for published version (APA):

Rogachevskiy, A. V. (2007). *Production and trapping of Na isotopes for beta-decay studies*. [Thesis fully internal (DIV), University of Groningen]. [s.n.].

Copyright

Other than for strictly personal use, it is not permitted to download or to forward/distribute the text or part of it without the consent of the author(s) and/or copyright holder(s), unless the work is under an open content license (like Creative Commons).

The publication may also be distributed here under the terms of Article 25fa of the Dutch Copyright Act, indicated by the "Taverne" license. More information can be found on the University of Groningen website: <https://www.rug.nl/library/open-access/self-archiving-pure/taverne-amendment>.

Take-down policy

If you believe that this document breaches copyright please contact us providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.

Downloaded from the University of Groningen/UMCG research database (Pure): <http://www.rug.nl/research/portal>. For technical reasons the number of authors shown on this cover page is limited to 10 maximum.

Nederlandse samenvatting

TRI μ P is een nieuwe faciliteit, die op dit moment ontwikkeld wordt op het KVI. Het acroniem staat voor: Trapped Radioactive Isotopes: micro-laboratories for fundamental physics. Het doel is om tot een betere beschrijving van de fundamentele krachten te komen. Hierbij speelt het Standaard Model een belangrijke rol. Het Standaard Model beschrijft de sterke en electrozwakke wisselwerking. Het is tot op heden in zeer goede overeenstemming met experimentele resultaten. Er blijven echter ook nog vele vragen onbeantwoord. Enkele doelstellingen van TRI μ P zijn het bestuderen van β -verval van radioactieve atomen en het zoeken naar een mogelijk permanent elektrisch dipool moment. Dit laatste schendt de symmetrie van tijdsomkering. Dit onderzoek verkent de grenzen van het Standaard Model en zou fysica buiten het Standaard Model kunnen aantonen.

Dit proefschrift behandelt de voorbereidingen voor precisie β -verval experimenten. β -verval experimenten hebben in het verleden een belangrijke rol gespeeld bij de ontwikkeling van het Standaard Model. Gezien de huidige limieten voor afwijking van het Standaard Model kunnen zulke experimenten alleen een nieuwe limiet stellen als gebruik wordt gemaakt van speciale technieken om de gewenste precisie te bereiken. Dit werk bestrijkt twee experimentele aspecten die een centrale rol spelen in het bereiken van nieuwe limieten. Het gaat om het efficiënt produceren en scheiden van radioactieve deeltjes met een magnetische separator en het onderzoeken van neutralisatie van ionen en het daaropvolgende invangen van de atomen in een atoomval. Beiden zijn onmisbare voorwaarden voor succesvolle precisie experimenten

Onderzoek naar β -verval

Bij β -verval wordt een neutrino en een β -deeltje uitgezonden. Gevoelige studies naar de limieten van het Standaard Model vragen om meting van zowel het β -deeltje als het neutrino in dit verval. Het is echter extreem moeilijk

om het neutrino te detecteren vanwege de extreem lage efficiëntie van neutrino detectie. Als alternatief kan de ontbrekende informatie van het neutrino worden herleid door de impuls van de terugstotende kern te meten. Door zowel het β -deeltje als de terugstoot van de kern te meten is de kinematische informatie compleet. Om de terugstoot voldoende nauwkeurig te meten is het noodzakelijk dat het juiste radioactieve isotoop gebruikt wordt en dat er geen substraat nodig is.

De Magnetisch-Optische Val (MOV) heeft belangrijke voordelen voor een dergelijke studie. Ten eerste kunnen atomen in een MOV op een goed gedefinieerde positie worden vastgehouden en gekoeld. Ze verkeren daarbij bijna in rust en de temperatuur is dus erg laag in zo'n val. Atomen worden opgeslagen in het midden van de MOV en de vervalsproducten worden gedetecteerd met een speciaal ontworpen detectorsysteem. Het is van groot belang dat de impuls van de restkern bekend is. Dit vereist nauwkeurige meting van de energie van de terugstoot kern, welke slechts een klein gedeelte is van de totale energie die vrijkomt in het verval.

Het tweede voordeel is dat na het koelen de MOV kan worden uitgezet en dat vervolgens de koude atomen kunnen worden gemanipuleerd, bijvoorbeeld om ze te polariseren. Dit aspect is belangrijk voor de β -verval studies en ook voor EDM metingen zoals gepland door de TRIUMF groep. In het algemeen zijn dit soort vallen erg populair geworden als werkpaard voor precisiemetingen. In dit werk wordt het β -verval van een natriumisotoop beschouwd.

Productie van ^{21}Na Isotopen

Dit proefschrift beschrijft een studie naar de opbrengst van ^{21}Na productie aan de hand van metingen en extrapolatie. Met de maximum intensiteit van het AGOR cyclotron, blijkt het mogelijk om 10^8 deeltjes per seconde te produceren. Een volledige lijst van productie en transport verhoudingen door de bundellijn en de experimentele opstellingen is gegeven in Tabel. 1. Meerdere reacties voor het produceren van ^{21}Na zijn overwogen. De $^{21}\text{Ne}(p,n)^{21}\text{Na}$ reactie is tot nu toe het beste gebleken. De $^{20}\text{Ne}(d,n)^{21}\text{Na}$ reactie levert ook voldoende productie, en heeft het voordeel dat ^{20}Ne een veel hogere natuurlijke abundantie heeft.

Neutralisatie

Na de vertraging en het transport van ^{21}Na door de separator en de thermal ionizer, zijn er 10^7 deeltjes per seconde beschikbaar. Naast de ^{21}Na produc-

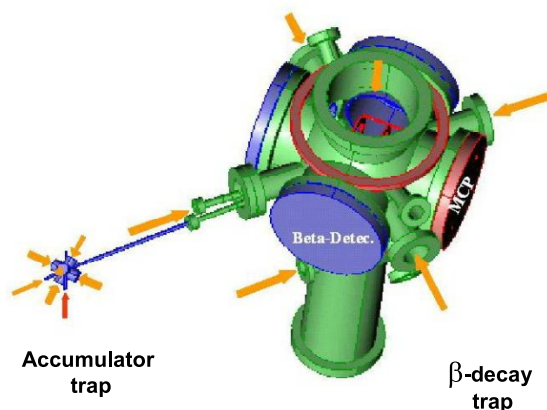
	$\varepsilon, \%$	$^{21}\text{Na}, [1/\text{s}]$
Productie doelwit		$3 \cdot 10^8$
Separator	100	$3 \cdot 10^8$
Thermal ionizer	50	$1.5 \cdot 10^8$
Transport	50	$7.5 \cdot 10^7$
Dubbele RFQ	35	$2.6 \cdot 10^7$
LEB	50	$1.3 \cdot 10^7$
Accumulatie MOV	1	$1.3 \cdot 10^5$
Transport van atomen	60	$7.8 \cdot 10^4$
Detectie MOV	80	$6.2 \cdot 10^4$
Detectie systeem	10	$6.2 \cdot 10^3$

Tabel 1: Ingeschatte ^{21}Na hoeveelheden op verschillende stadia van een ^{21}Na β -decay experiment. Voor de berekeningen is 1kW (2200 pnA of 22.3 MeV/amu ^{20}Ne) als maximum bundel intensiteit van AGOR genomen. De gasdruk van het gas doelwit is op 10 bar gesteld. De onderste regel geeft de verwachte telsnelheid.

tie, is ook een experimentele methode voor het vullen van een Magnetisch-Optische Val (MOV) met een Na-ionenbundel bestudeerd. Om de deeltjes in de MOV te vangen, moeten de ionen eerst worden afgeremd. Dit gebeurt door ze te implanteren in een folie. Vervolgens kunnen ze weer worden uitgezonden als neutrale atomen. De mate waarin het folie materiaal hierop van invloed is, is hier bestudeerd. Het blijkt dan dat zirconium en yttrium kwalitatief vergelijkbare resultaten geven. Om deeltjes snel te laten ontsnappen uit het folie, werd het verhit tot ≈ 1000 K. Vanwege de betere mechanische stabiliteit bij hoge temperaturen heeft een zirconium folie de voorkeur boven een yttrium folie. Het resultaat van dit proefschrift laat zien dat nieuwe, betere, materialen voor deze toepassing nodig zijn. Deze materialen moeten in het bijzonder een lage dampdruk hebben bij de optimale operationele temperatuur.

Atoom Val Opstelling

Voor het β -verval experiment werd voor een opstelling met een dubbele val gekozen (Fig. 1). De eerste val is ontworpen voor het neutraliseren en verzamelen van de ionen die van de RFQ komen. Hij is geoptimaliseerd voor de maximale invangst van de deeltjes. De tweede val is uitgerust met alle noodzakelijke detectoren voor het β -verval en is ook hiervoor geoptimaliseerd. De overdracht van de atomen van de eerste naar de tweede val vindt plaats met



Figuur 1: De val in de TRI μ P β -vervalopstelling. De kleinere val is voor het neutraliseren en het verzamelen van natrium atomen. Hij is geoptimaliseerd voor een hoge verzamelfrequentie. De grotere val is ontworpen voor de β -vervalmetingen. Hij is uitgerust met een detectiesysteem dat ontworpen is voor het detecteren van β -deeltjes en de terugstoot van de ionen van het vervalsproces.

behulp van een geschikt afgestelde laserbundel. De eerste val noemen we de verzamelval en de tweede de vervalsval. In dit werk is de verzamelval ontworpen en getest. Verschillende operationele karakteristieken en parameters zijn bestudeerd.

De belangrijkste parameters die de efficiëntie van de verzamelval beïnvloeden werden bestudeerd, evenals de voor het ontwerp kritische factoren. De efficiënte neutralisatie en het invangen van natrium atomen zijn het belangrijkste. De verzamelval is gemaakt van glas omdat binnenin een dunne film van materiaal kan worden aangebracht om het plakken van de atomen aan de wand van de vacuümkamer te verminderen. Glas is ook voor ultra hoog vacuüm geschikt en het staat een erg compact ontwerp van de MOV toe.

De verwachte telsnelheid van gebeurtenissen in een β -verval experiment voor realistische parameters zal het mogelijk maken de β -vervalparameters

met een relatieve nauwkeurigheid van 10^{-4} in minder dan een dag vast te stellen. Dit werk heeft ertoe bijgedragen om te laten zien dat β -verval experimenten met hoge precisie mogelijk zijn met de TRI μ P faciliteit.

